

## UTJECAJ AGROHIDROGELA I EKTOMIKORIZE NA PREŽIVLJENJE I POČETNI RAST SADNICA HRASTA LUŽNJAKA (*QUERCUS* *ROBUR* L.)

### *THE EFFECT OF AGROHYDROGEL AND ECTOMYCORRHIZAE ON THE SURVIVAL AND INITIAL GROWTH OF PEDUNCULATE OAK (QUERCUS ROBUR L.) SEEDLINGS*

Damir Drvodelić, Milan Oršanić, Vinko Paulić

#### Sažetak

U prirodnim šumskim sastojinama umjerenog pojasa vrste drveća iz porodice *Fagaceae* ovisne su o ektomikoriznim gljivama. Rezultati brojnih istraživanja ukazuju na pozitivan utjecaj ektomikorizne simbioze na preživljenje, rast i razvoj šumskih sadnica. Najveći utjecaj inokulacije sadnica mikoriznim gljivama vidljiv je tijekom razdoblja stresa. Dostupnost vode korijenu biljke jedan je od glavnih čimbenika o kojem ovisi preživljenje i rast sadnica nakon sadnje na terenu. Kako bi se popravila vlažnost tla, već dulji niz godina u poljoprivredi i šumarstvu upotrebljavaju se hidrogelovi, odnosno visokoumreženih poliakrilamidi gdje je 40% amidnih skupina hidrolizirano u karboksilne skupine. Pokusna ploha s dvogodišnjim sadnicama hrasta lužnjaka (2 + 0) osnovana je na području Nastavno-pokusnoga šumskog objekta Lipovljani (NPŠO Lipovljani), u Gospodarskoj jedinici „Opeke“, odjel/odsjek 150 b, kojim gospodari Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Ploha je osnovana na šumskom tlu, nakon dovršnog sijeka sastojine stare 118 godina. Pokus je postavljen u proljeće 2012. godine kao latinski kvadrat s tri tretiranja (kontrola, AgroHidroGel, AgroHidroGel + ektomikoriza) i tri ponavljanja. Mikorizacija je obavljena umakanjem korijenskog sustava sadnica u suspenziju AgroHidroGela s dodatkom živih ektomikoriznih micelija s korisnim bakterijama (Mykoflor, Poljska). Preživljenje sadnica i morfološka mjerenja obavljena su u jesen 2012. godine. Analiza osam varijabli korijenskog sustava sadnica obavljena je pomoću WinRHIZO ProLA2400 sustava. Masa korijena i stabljike određena je u svježem i suhom stanju, nakon sušenja u periodu od 48 h pri 68 °C. Statistička obrada podataka (deskriptivna statistika, ANOVA, korelacija) provedena je u statističkom programu STATISTICA 7.1. Kod sadnica tretiranih s AgroHidroGelom utvrđen je za 1,48% manji mortalitet u odnosu na kontrolne sadnice, odnosno u slučaju sadnica s AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama

mortalitet je bio niži za 1,11%. Utvrđen je negativan utjecaj ektomikoriznih gljiva na visinski i debljinski prirast sadnica. Sadnice tretirane AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama imale su u prosjeku 15 mm manji visinski i 0,19 mm manji godišnji debljinski prirast za razliku od kontrolnih sadnica. Dokazano je pozitivno djelovanje AgroHidroGela i ektomikoriznih gljiva na ukupnu duljinu, volumen i broj vrhova korijena sadnica. Primjena AgroHidroGela imala je pozitivan utjecaj na preživljenje i razvoj korijena, a negativno se odrazila na visinski i debljinski prirast sadnica. Kod sadnica tretiranih AgroHidroGelom utvrđena je veća ukupna duljina korijena, veći prosječni promjer korijena, veći volumen korijena i više vrhova korijena u odnosu na kontrolne sadnice. Najveća duljina i volumen finog korijenja (< 2 mm promjera) utvrđeni su kod sadnica s AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama, a najmanji kod kontrolnih sadnica. Utvrđeno je povećanje mase svježe i suhe tvari korijena sadnica s AgroHidroGelom te AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama. S obzirom na to da utjecaj ektomikoriznih gljiva na šumske sadnice postaje sve izraženiji s brojem vegetacija na terenu, mogu se očekivati puno bolji rezultati preživljenja i rasta u nadolazećim godinama.

**Ključne riječi:** mikoriza; WinRHIZO; visinski rast; debljinski rast; korijenski sustav.

## UVOD / INTRODUCTION

Za šumsko drveće najvažnije su mikorizne gljive koje u tlu tvore simbiotske zajednice na korijenu s višim biljkama, čime si osiguravaju potrebno hranivo za svoj razvoj te omogućavaju biljkama bolji pristup hranivu u tlu (Smith i Read 1997). Glavni čimbenici koji utječu na zastupljenost gljiva u nekom tlu jesu organska tvar, pH vrijednost, organska i mineralna hraniva, režim vlage, aeracija, temperatura, mjesto u profilu, godišnje doba i sastav vegetacije (Alexander 1977).

Postoji pet glavnih tipova mikorize: ektomikoriza, arbuskularna mikoriza, endomikoriza, mikoriza orhideja i erikoidna mikoriza. Prema Dubravec i Regula (1995), razlikujemo ektotrofnu i endotrofnu mikorizu. Kod ektotrofne mikorize gljive mogu korijen izvana gusto obaviti, a da pritom rastu u unutrašnjosti korijena samo intercelularno. Ektotrofna mikoriza karakteristična je za hrast, pitomi kesten, smreku, ariš itd. U borealnim šumama kao i onima umjerenog pojasa dominiraju ektomikorize s više od 4.000 vrsta gljiva (Sylvia 1998).

Simbioze se javljaju u prirodnim biljnim zajednicama na korijenu biljaka iz porodica *Fagaceae*, *Pinaceae*, *Betulaceae* i *Myrtaceae*. Takva simbioza ključna je za preživljenje biljke domaćina. Postoji određena specifičnost mikoriznih vrsta za pojedine vrste drveća i određene uvjete na terenu (Zhou i dr. 1997). Rezultati brojnih istraživanja ukazuju na pozitivan utjecaj ektomikorizne simbioze na preživljenje, rast i razvoj šumskih sadnica (Burgess i dr. 1994, Hatchell i Marx 1987). Prema Khasa i dr. (2001), upotreba ektomikoriznih gljiva u šumskim rasadnicima može smanjiti

unos tvorničkih gnojiva i pesticida, čime se sprečava onečišćenje tla i izvora voda. U novije vrijeme proizvođači školovanog sadnog materijala za potrebe krajobraznog uređenja počeli su primjenjivati ektomikoriznu simbiozu kako bi povećali postotak preživljenja i rast sadnica u rasadniku te nakon presađnje na terenu.

Koristi od inokulacije sadnica mikoriznim gljivama bit će najveće u stanju stresa (Sylvia i Williams 1992). Prema Appleton i dr. (2003), stres kod biljaka događa se tijekom presađnje (gubitak dijela korijena), za vrijeme ekstremnih klimatskih uvjeta (suša, visoke temperature), u slučaju mehaničkih oštećenja te kod stabala u zreloj dobi kada počinje razdoblje slabljenja vitalnosti. Devine i dr. (2009) pišu kako inokulacija zemlje koja sadrži ektomikorizne gljive znatno poboljšava rast nadzemnog i podzemnog dijela prihranjivanih sadnica. Rezultati istraživanja *Amaranthus* i Perry (1987) govore kako je formirana mikoriza na sadnicama kritična za njihov rast i preživljenje na hladnim i suhim staništima. Populacije mikoriznih gljiva i ostalih korisnih organizama u tlu padaju ako se pošumljavanje odgađa ili u slučaju izostanka biljaka domaćina. Mikorizne gljive mogu se nadoknaditi dovozom tla iz odgovarajućih nasada kao što su vitalne mlade šumske plantaže.

Tikvić i dr. (2007) pišu da je razvoj sadnica u ekstremnim ekološkim prilikama (prekomjerna vlažnost supstrata) pod većim utjecajem ekoloških čimbenika, a pod manjim utjecajem ektomikorize, koja može biti i inhibirana. Također, prirodni ekološki čimbenici poput temperature tla, količine hraniva u tlu, vlažnosti i pH vrijednosti utječu na pojavu, razvoj i funkcioniranje ektomikorize. Ostali čimbenici okoliša poput tvorničkih plinova i onečišćenja teškim metalima, koji su rezultat ljudske aktivnosti, mogu nepovoljno utjecati na formiranje i razvoj ektomikorize kod šumskog drveća (Hormilla i dr. 1996, Zhou i dr. 1997).

Dostupnost vode korijenu biljke jedan je od glavnih čimbenika o kojem ovisi preživljenje i rast sadnica nakon sadnje na terenu. U novije doba problem suše može se djelomično svladati uz pomoć modernih agrotehničkih mjera kojima je cilj stvaranje što boljih uvjeta za održanje vlage u tlu i sprečavanje evaporacije. Kako bi se popravila vlažnost tla, već dulji niz godina u poljoprivredi i šumarstvu primjenjuju se hidrogelovi, odnosno visokoumreženi poliakrilamidi gdje je 40% amidnih skupina hidrolizirano u karboksilne skupine. Polimeri takvog tipa formiraju vodenasti gel koji je sposoban upiti i skladištiti do 400 puta više vode od vlastite težine. Na taj se način stvara dodatna zaliha vode i ublažava vodni stres kod biljaka. Dodavanjem hidrogela u tlo bitno se povećava otpornost biljaka na sušu. Danas na tržištu postoji više trgovačkih naziva za hidrogelove (AgroHidroGel, Stockosorb, Aquita) koji imaju sličan učinak, a dijele se samo s obzirom na veličinu čestica. Dimenzije čestica hidrogela određuju sposobnost apsorpcije vode i potrebnu količinu po hektaru.

Prema Sarvašu i dr. (2007), hidrogelovi s dimenzijama čestica  $< 0,2$  mm (Powder) primjenjuju se radi zaštite korijenskog sustava sadnica tijekom sadnje, rukovanja,

čuvanja i transporta, dok se hidrogelovi s dimenzijama čestica 0,2 – 0,8 mm (Agro i Micro) primjenjuju prije same sadnje dodavanjem u supstrat ili tlo. Hidrogelovi se često upotrebljavaju kod pošumljavanja semiaridnih područja (Roldan i dr. 1996, Tognetti i dr. 1997). Dolaze na tržište u obliku praha ili gela, a primjenjuju se u okvirnim količinama od 7 g praha/sadna jama ili 150 g gela/sadna jama. Gel se primjenjuje i u rasadniku tako da se otopi 70 g Micro hidrogela s 10 l vode i dobro promiješa. Primjena granula hidrogela jednostavna je, ali se može zakomplicirati zbog mogućnosti stavljanja prevelike doze i vrlo visokog kapaciteta bubrenja hidrogela. Naprimjer, ako granule mogu apsorbirati 400 puta više vode od vlastite težine (Bouranis i dr. 1995), to znači da 7 g granula teoretski apsorbira 2 l vode. Do danas nije poznata optimalna doza granula hidrogela po sadnoj jami, a primjena doze manje od 7 g vrlo je komplicirana. Jedna je od mogućnosti miješanje hidrogel granula u tlo kojim se zatrpava sadna jama, što je skupo i oduzima puno vremena. U budućnosti je nužno osmisliti novu tehnologiju aplikacije hidrogelova koja će biti jeftina, precizna i učinkovita. Bolji način primjene hidrogela jest apliciranje izravno u sadnu jamu. Nakon primjene voda je sadnicama direktno na raspolaganju, što znatno smanjuje šok zbog presađnje.

Cilj navedenih istraživanja jest utvrditi utjecaj AgroHidroGela i živih ektomikoriznih micelija s korisnim bakterijama na preživljenje i početni rast dvogodišnjih sadnica hrasta lužnjaka u prirodnim stanišnim uvjetima.

## PODRUČJE ISTRAŽIVANJA / RESEARCH AREA

Pokusna ploha osnovana je na području Nastavno-pokusnoga šumskog objekta Lipovljani, u Gospodarskoj jedinici „Opeke“, odjel/odsjek 150 b, kojim gospodari Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Područje Lonjskog polja u kojem se nalazi Gospodarska jedinica „Opeke“ proglašeno je 1990. godine zaštićenim područjem u kategoriji parka prirode (N.N. 1171990 od 20. ožujka 1990.) a same šume pripadaju kategoriji šuma s posebnom namjenom. Gospodarska jedinica „Opeke“ smještena je u poplavnom području rijeke Save, južno od mjesta Kraljeva Velika. Odsjek 150b ima površinu od 9,20 ha, nalazi se na I. bonitetu, bez nagiba i na nadmorskoj visini od 93 m. Sastojina je dobre kakvoće. Odsjek pripada u EGT II-G-30 i uredajni razred poljskog jasena. Tlo je močvarno glejno (euglej), amfiglejno, organogeno, vertično (Gso dublji od 55 cm-pretaloženi les). Na takvim tlama raste šuma poljskog jasena s kasnim drijemovcem (*Leucoio-Fraxinetum angustifoliae*) i šuma crne johe s trušljikom (*Frangulo-Alnetum glutinosae*). Riječ je o mješovitoj šumskoj sastojini poljskog jasena, hrasta lužnjaka i crne johe gdje dominantnu etažu čine stabla poljskog jasena, a podstojnu stabla jasena, hrasta i johe. U sloju grmlja pridolazi trušljika, klen i jasen. Pokusna ploha osnovana je na šumskom tlu, nakon dovršnog sijeka sastojine stare 118 godina.

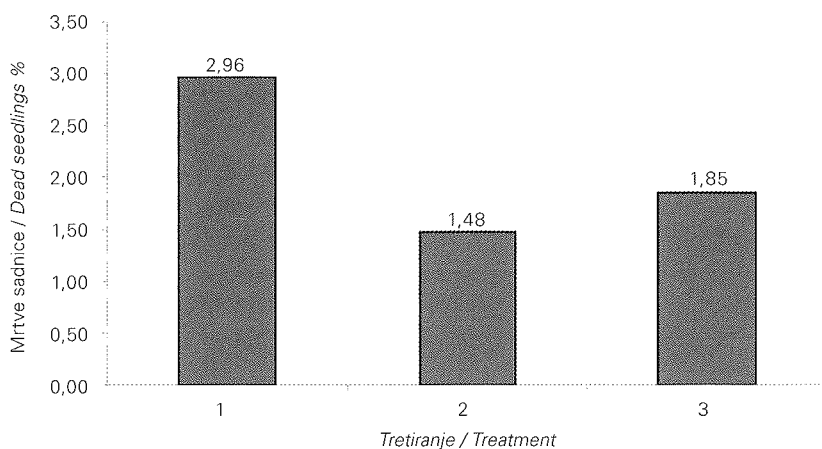
## MATERIJALI I METODE / MATERIAL AND METHODS

Pokus je postavljen kao latinski kvadrat s tri tretiranja i tri ponavljanja. Za prvo tretiranje pripremljena je otopina AgroHidroGela, Bio-budućnost d.o.o. (100g/10 l H<sub>2</sub>O), u koju smo prije sadnje umočili korijenski sustav sadnica hrasta lužnjaka. Za drugo tretiranje korištena je otopina AgroHidroGela s dodatkom živih ektomikoriznih micelija s korisnim bakterijama proizvođača Mykoflor iz Poljske. Mikorizacija je obavljena umakanjem korijenskog sustava sadnica u navedenu suspenziju. U svakom ponavljanju posađeno je 30 sadnica dobi 2 + 0, što čini ukupno 270 sadnica u pokusu. Izvan pokusne plohe posađene su sadnice s identičnim tretiranjima koje će služiti za morfološke analize korijenskog sustava. Prije sadnje sadnicama su izmjerene visine do vršnog pupa i promjer vrata korijena. Visine sadnica mjerene su mjernom letvom, a promjer vrata korijena uz pomoć digitalne promjerke (točnost 0,01 mm). Sadnice su sadene u proljeće 2012. godine u prethodno strojno iskopane rupe promjera 20 cm. Pokusna ploha bila je ograđena čvrstom i visokom metalnom žicom kako bi se spriječila šteta od divljači. Tijekom vegetacije na pokusnim ploham provedene su mjere čišćenja od korovske vegetacije. Registracija preživljenja i ponovljena mjerenja visina i promjera vrata korijena sadnica obavljena su u jesen 2012. godine. Iz svakog tretiranja izvađen je uzorak sadnica za morfološku analizu korijenskog sustava. Nakon detaljnog ispiranja čestica tla i AgroHidroGela, pomoću skenera Epson Expression 10000XL i softvera WinRHIZO ProLA2400 (2005) za analizu opranog korijena, utvrdila se ukupna duljina (cm), projicirana površina (cm<sup>2</sup>), površina (cm<sup>2</sup>), prosječan promjer (mm), volumen (cm<sup>3</sup>), broj vrhova (kom.), račvanja (kom.) i križanja (kom.) korijena. Masa korijena i stabljike određena je u svježem i suhom stanju, nakon sušenja u razdoblju od 48 h pri 68 °C. Statistička obrada podataka (deskriptivna statistika, ANOVA, korelacija) provedena je u statističkom programu STATISTICA 7.1. (StatSoft, Inc. 2007).

## REZULTATI ISTRAŽIVANJA / RESEARCH RESULTS

Na slici 1 prikazan je postotak mrtvih sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) na kraju prve vegetacije na terenu s obzirom na tretiranja.

Na kraju prve vegetacije na terenu (9. 11. 2012.) ukupno je utvrđeno, bez obzira na tretiranje, 6,30% mrtvih sadnica. Najviše mrtvih sadnica utvrđeno je na kontrolnoj plohi (2,96%). Kod sadnica s AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama zabilježen je 1,11% manji mortalitet u odnosu na kontrolne sadnice, dok je kod sadnica s AgroHidroGelom mortalitet bio manji za 1,48%. Korelacijskom analizom nije utvrđena statistički bitna razlika između početnih visina ili promjera vrata korijena sadnica i preživljenja nakon prve vegetacije na terenu ( $R = -0,0170; +0,05813$ ).



**Slika 1.** Postotak mrtvih sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) na kraju prve vegetacije na terenu s obzirom na tretiranja (1 - Kontrola, 2 - AgroHidroGel, 3 – AgroHidroGel + ektomikoriza)

**Figure 1** Percentage of dead seedlings of Pedunculate oak (*Quercus robur* L.) at the end of the first vegetation in the field with regard to the treatments (1-Control, 2-AgroHidroGel, 3- AgroHidroGel+ectomycorrhiza)

**Tablica 1.** Deskriptivna statistika visina i promjera vrata korijena sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) na početku i kraju prve vegetacije na terenu s obzirom na tretiranja

**Table 1** Descriptive statistics of heights and diameters of root collars of Pedunculate oak (*Quercus robur* L.) seedlings at the beginning and end of the first vegetation in the field with regard to the treatments

Varijabla Variable	Tretiranje Treatment	Datum (2012) Date (2012)	N	Mean	Median	Min.	Max.	Var.	Std. Dev.
visina (mm) height (mm)	kontrola control	18.04.	90	418	419	226	676	11769	108
		09.11.	76	452	456	250	830	11354	107
	AgroHidroGel AgroHidroGel	18.04.	90	419	422	262	600	8681	93
		09.11.	86	440	435	262	600	8851	94
	AgroHidroGel + ektomikoriza AgroHidroGel + Ectomycorrhiza	18.04.	90	462	472	239	706	10399	102
		09.11.	81	480	490	239	706	9735	99
promjer (mm) diameter (mm)	kontrola control	18.04.	90	7,04	7,03	3,49	10,62	1,93	1,39
		09.11.	76	7,46	7,44	3,72	11,28	2,37	1,54
	AgroHidroGel AgroHidroGel	18.04.	90	7,17	7,15	4,87	11,42	1,37	1,17
		09.11.	86	7,33	7,36	4,87	11,42	1,31	1,14
	AgroHidroGel + ektomikoriza AgroHidroGel + Ectomycorrhiza	18.04.	90	7,28	7,24	3,94	10,59	1,99	1,41
		09.11.	81	7,60	7,80	3,94	10,64	2,17	1,47

Tijekom radova njege na pokusnoj plohi ukupno je oštećeno 3,70% sadnica, od čega na kontrolnoj plohi 2,22% a ostatak na plohi tretiranoj AgroHidroGelom i ek-

tomikoriznim gljivama (1,48%). U tablici 1 prikazani su rezultati deskriptivne statistike visina i promjera vrata korijena sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) na početku i kraju prve vegetacije na terenu s obzirom na tretiranje.

Na početku vegetacije, prosječno najveće visine od 462 mm (239 – 706 mm) imale su sadnice hrasta lužnjaka s AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama. Visine sadnica s AgroHidroGelom prosječno su iznosile 419 mm (262 – 600 mm), a visine kontrolnih sadnica 418 mm (226 – 676). Na kraju prve vegetacije, prosječno najveće visine od 480 mm (239 – 706 mm) opet su zabilježene kod sadnica s AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama. Prosječne visine kontrolnih sadnica iznosile su 452 mm (250 – 830 mm), a visine sadnica s AgroHidroGelom za 12 mm manje, odnosno 440 mm (262 – 600 mm).

Na početku vegetacije, prosječno najveće promjere vrata korijena od 7,28 mm (3,94 – 10,59 mm) imale su sadnice hrasta lužnjaka s AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama. Promjer vrata korijena sadnica s AgroHidroGelom u prosjeku je iznosio 7,17 mm (4,87 – 11,42 mm) a promjer vrata korijena kontrolnih sadnica 7,04 mm (3,49 – 10,62 mm). Na kraju prve vegetacije, prosječno najveći promjer vrata korijena od 7,60 mm (3,94 – 10,64 mm) opet je zabilježen kod sadnica s AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama. Prosječni promjer vrata korijena kontrolnih sadnica iznosio je 7,46 mm (3,72 – 11,28 mm), a promjer vrata korijena sadnica s AgroHidroGelom za 0,13 mm manje, odnosno 7,33 mm (4,87 – 11,42 mm). U tablici 2 prikazani su rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za visinu sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) različitih tretiranja.

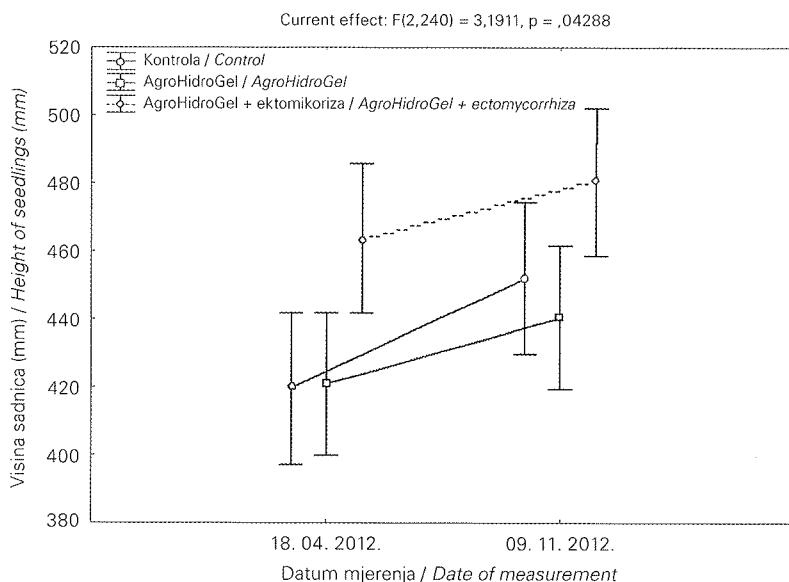
**Tablica 2.** Analiza varijance ponovljenih mjerenja za visinu sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) različitih tretiranja

**Table 2** Analysis of variance of repeated measurements for Pedunculate oak (*Quercus robur* L.) seedling height at different treatments

Izvor varijabilnosti Source of variability	SS	DF	MS	F	p
intercept	96520942	1	96520942	5049,090	0,000000
tretiranje treatment	165607	2	82804	4,332	0,014191
error	4587961	240	19117		
visina height	63321	1	63321	75,056	0,000000
visina*tretiranje height* treatment	5384	2	2692	3,191	0,042878
error	202475	240	844		

Analiza varijance ponovljenih mjerenja za visinu sadnica hrasta lužnjaka pokazala je postojanje statistički značajnih razlika između tretiranja ( $F = 4,332$ ,  $p =$

0,014191), visina ( $F = 75,056$ ,  $p = 0,000000$ ) i visina  $\times$  tretiranje ( $F = 3,191$ ,  $p = 0,042878$ ). Tukeyevim HSD-testom utvrđene su statistički značajne razlike u visinama kontrolnih sadnica na početku i kraju vegetacije ( $p = 0,000020$ ), sadnica s AgroHidroGelom ( $p = 0,000182$ ) i sadnica s AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama ( $p = 0,003144$ ). Dobivene razlike govore nam kako su u sva tri tretiranja sadnice visinski prirašćivale tijekom vegetacije. Utvrđene su statistički značajne razlike u visinama kontrolnih sadnica na početku vegetacije i sadnica s AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama na kraju vegetacije ( $p = 0,001949$ ) te između visina sadnica s AgroHidroGelom na



**Slika 2.** Visinski rast sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) različitih tretiranja

**Figure 2** Height growth of Pedunculate oak (*Quercus robur* L.) seedlings at different treatments

početku vegetacije i sadnica s AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama na kraju vegetacije ( $p = 0,001705$ ). Na slici 2 prikazan je visinski rast sadnica hrasta lužnjaka različitih tretiranja.

U tablici 3 prikazani su rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za promjer vrata korijena sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) različitih tretiranja. Analiza varijance ponovljenih mjerenja za promjer vrata korijena sadnica pokazala je postojanje statistički značajnih razlika samo između promjera vrata korijena, dok između tretiranja nije utvrđena statistički značajna razlika.

Tukeyevim HSD-testom utvrđene su statistički značajne razlike u promjerima vrata korijena samo u slučaju kontrolnih sadnica na početku i kraju vegetacije ( $p = 0,000021$ ). Dobivene razlike ukazuju kako su isključivo kontrolne sadnice debljinski

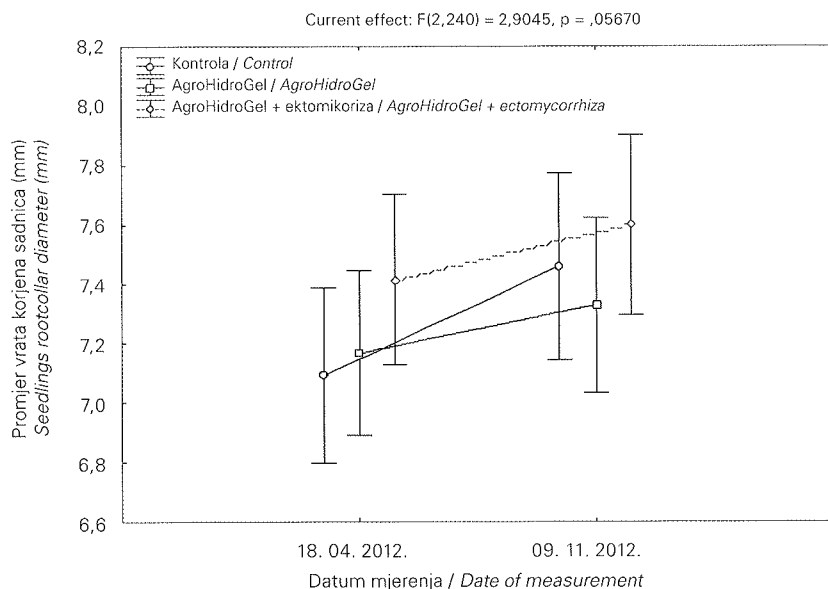


prirašćivale tijekom vegetacije. Na slici 3 prikazan je debljinski rast sadnica hrasta lužnjaka različitih tretiranja.

**Tablica 3.** Analiza varijance ponovljenih mjerenja za promjer vrata korijena sadnica rasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) različitih tretiranja

**Table 3** Analysis of variance of repeated measurements for root collar diameter of Pedunculate oak (*Quercus robur* L.) seedlings at different treatments

Izvor varijabilnosti Source of variability	SS	DF	MS	F	p
intercept	26146,97	1	26146,97	7551,603	0,000000
tretiranje treatment	6,65	2	3,32	0,960	0,384285
error	830,99	240	3,46		
promjer diameter	6,79	1	6,79	39,237	0,000000
promjer *tretiranje diameter*treatment	1,01	2	0,50	2,905	0,056703
Error	41,56	240	0,17		



**Slika 3.** Debljinski rast sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) različitih tretiranja

**Figure 3** Diameter growth of Pedunculate oak (*Quercus robur* L.) seedlings at different treatments

U tablici 4 prikazani su rezultati deskriptivne statistike godišnjeg visinskog i debljinskog prirasta sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) s obzirom na tretiranja. Prosječno najveći godišnji visinski prirast od 32 mm (0 – 238 mm) utvrđen je kod kontrolnih sadnica. Godišnji visinski prirast sadnica s AgroHidroGelom iznosio je 19 mm (0 – 300 mm), a sadnica s AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama 17 mm (0 – 315 mm). Prosječno najveći godišnji debljinski prirast od 0,37 mm (0,00 – 2,96 mm) utvrđen je također kod kontrolnih sadnica. Godišnji debljinski prirast sadnica s AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama iznosio je 0,18 mm (0,00 – 3,41 mm), a sadnica s AgroHidroGelom 0,16 mm (0,00 – 2,87 mm). U tablici 5 prikazani su rezultati analize varijance za godišnji visinski prirast sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) različitih tretiranja.

**Tablica 4.** Deskriptivna statistika godišnjeg visinskog i debljinskog prirasta sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) s obzirom na tretiranja

**Table 4** Descriptive statistics of annual height and diameter increment of Pedunculate oak (*Quercus robur* L.) seedlings with regard to the treatments

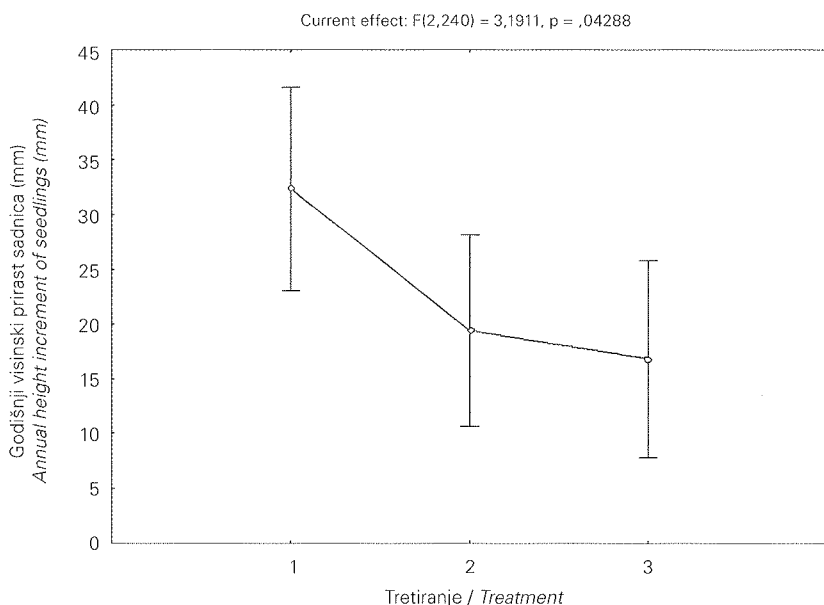
Varijabla Variable	Tretiranje Treatment	N	Mean	Median	Min.	Max.	Var.	Std. Dev.
godišnji visinski prirast (mm) annual height increment (mm)	kontrola control	76	32	20	0	238	1968	44
	AgroHidroGel AgroHidroGel	86	19	0	0	300	1627	40
	AgroHidroGel+ ektomikoriza AgroHidroGel+ ectomycorrhiza	81	17	1	0	315	1488	39
godišnji debljinski prirast (mm) annual diameter increment (mm)	kontrola control	76	0,37	0,00	0,00	2,96	0,48	0,69
	AgroHidroGel AgroHidroGel	86	0,16	0,00	0,00	2,87	0,23	0,48
	AgroHidroGel+ ektomikoriza AgroHidroGel+ ectomycorrhiza	81	0,18	0,00	0,00	3,41	0,34	0,59

Analizom varijance utvrđene su statistički značajne razlike u godišnjem visinskom prirastu sadnica hrasta lužnjaka između tretiranja ( $F = 3,19109$ ,  $p = 0,042878$ ). Tukeyev HSD-test pokazao je statistički značajnu razliku isključivo između godišnjeg visinskog prirasta kontrolnih sadnica i sadnica s AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama ( $p = 0,047371$ ). Na slici 4 prikazan je godišnji visinski prirast sadnica hrasta lužnjaka različitih tretiranja.

**Tablica 5.** Analiza varijance za godišnji visinski prirast sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) različitih tretiranja

**Table 5** Analysis of variance for annual height increment of Pedunculate oak (*Quercus robur* L.) seedlings at different treatments

Izvor varijabilnosti Source of variability	SS	DF	MS	F	p
intercept	126641,7	1	126641,7	75,05617	0,000000
tretiranje treatment	10768,6	2	5384,3	3,19109	0,042878
error	404950,1	240	1687,3		



**Slika 4.** Godišnji visinski prirast sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) različitih tretiranja (1 - kontrola, 2 - AgroHidroGel, 3 - AgroHidroGel + ektomikoriza)

**Figure 4** Annual height increment of Pedunculate oak (*Quercus robur* L.) seedlings at different treatments (1-control, 2-AgroHidroGel, 3-AgroHidroGel+ectomycorrhiza)

Kada govorimo o godišnjem debljinskom prirastu sadnica hrasta lužnjaka, analizom varijance nisu utvrđene statistički značajne razlike s obzirom na tretiranja ( $F = 2,90453$ ,  $p = 0,056703$ ). U tablici 6 prikazana je deskriptivna statistika visina i promjera vrata korijena sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) za analizu morfoloških varijabli korijenskog sustava, a u tablici 7 deskriptivna statistika značajnijih morfoloških varijabli korijenskog sustava sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) različitog načina tretiranja.

**Tablica 6.** Deskriptivna statistika visina i promjera vrata korijena sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) za analizu morfoloških varijabli korijenskog sustava

**Table 6** Descriptive statistics of heights and diameters of root collars of Pedunculate oak (*Quercus robur* L.) seedlings for the analysis of morphological variables of the root system

Varijabla Variable	Tretiranje Treatment	N	Mean	Median	Min.	Max.	Var.	Std. Dev.
visina (mm) height (mm)	kontrola control	10	451	433	292	587	12638	112
promjer (mm) diameter (mm)			8,54	8,34	6,53	11,00	1,98	1,41
visina (mm) height (mm)	AgroHidroGel AgroHidroGel	10	490	498	383	582	4664	68
promjer (mm) diameter (mm)			8,59	7,94	6,36	13,04	4,54	2,13
visina (mm) height (mm)	AgroHidroGel + ektomikoriza AgroHidroGel + ectomycorrhiza	8	413	442	137	575	16807	130
promjer (mm) diameter (mm)			8,72	8,87	6,53	10,15	1,23	1,11

**Tablica 7.** Deskriptivna statistika značajnijih morfoloških varijabli korijenskog sustava kontrolnih sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.), sadnica tretiranih AgroHidroGelom te AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama

**Table 7** Descriptive statistics of some more significant morphological variables of the root system of control Pedunculate oak (*Quercus robur* L.) seedlings, seedlings treated with AgroHydroGel and seedlings treated with AgroHydroGel and ectomycorrhizal fungi

Varijabla Variable	Tretiranje Treatment	N	Mean	Median	Min.	Max.	Var.	Std. Dev.
duljina (cm) length (cm)	kontrola control	10	171,68	160,40	80,12	286,12	4637,97	68,10
površina projekcije (cm <sup>2</sup> ) projArea (cm <sup>2</sup> )			38,48	37,07	22,20	66,28	153,31	12,38
oplošje (cm <sup>2</sup> ) surfArea (cm <sup>2</sup> )			120,89	116,46	69,74	208,21	1513,14	38,90
prosječan promjer (mm) average diameter (mm)			2,34	2,35	1,68	2,93	0,15	0,38
volumen (cm <sup>3</sup> ) volume (cm <sup>3</sup> )			6,94	6,63	4,83	12,06	4,66	2,16
vrhovi (kom) tips (psc)			461	448	325	672	14475	120
račvanja (kom.) forks (pcs)			1261	1217	750	2107	178609	423
križanja (kom.) crossings (pcs)			54	51	17	96	471	22

Varijabla Variable	Tretiranje Treatment	N	Mean	Median	Min.	Max.	Var.	Std. Dev.
duljina (cm) <i>length (cm)</i>	AgroHidroGel AgroHidroGel	10	198,08	203,68	39,61	392,20	13941,06	118,07
površina projekcije (cm <sup>2</sup> ) <i>projArea (cm<sup>2</sup>)</i>			44,56	42,11	15,95	91,51	527,73	22,97
oplošje (cm <sup>2</sup> ) <i>surfArea (cm<sup>2</sup>)</i>			140,00	132,29	50,09	287,48	5208,51	72,17
prosječan promjer (mm) <i>average diameter (mm)</i>			2,55	2,28	1,94	4,03	0,54	0,73
volumen (cm <sup>3</sup> ) <i>volume (cm<sup>3</sup>)</i>			8,14	6,84	5,04	16,77	12,04	3,47
vrhovi (kom.) <i>tips (psc)</i>			497	506	249	717	33631	183
račvanja (kom.) <i>forks (pcs)</i>			1372	1480	619	2214	389661	624
križanja (kom.) <i>crossings (pcs)</i>			45	44	21	83	356	19
duljina (cm) <i>length (cm)</i>	AgroHidroGel + ektomikoriza AgroHidroGel+ ectomycorrhiza	8	202,00	195,49	108,04	322,94	4168,07	64,56
površina projekcije (cm <sup>2</sup> ) <i>projArea (cm<sup>2</sup>)</i>			45,86	48,15	24,12	54,90	94,35	9,71
oplošje (cm <sup>2</sup> ) <i>surfArea (cm<sup>2</sup>)</i>			144,07	151,27	75,77	172,47	931,21	30,52
prosječan promjer (mm) <i>average diameter (mm)</i>			2,34	2,31	1,70	2,86	0,12	0,34
volumen (cm <sup>3</sup> ) <i>volume (cm<sup>3</sup>)</i>			8,37	8,80	4,23	10,00	3,53	1,88
vrhovi (kom.) <i>tips (psc)</i>			489	465	364	671	13158	115
račvanja (kom.) <i>forks (pcs)</i>			1454	1390	1049	2088	141623	376
križanja (kom.) <i>crossings (pcs)</i>			51	51	27	75	252	16

U tablici 8 prikazani su rezultati deskriptivne statistike značajnijih morfoloških varijabli fiziološki aktivnog dijela korijenskog sustava sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) do 2 mm promjera s obzirom na tretiranja.

Kad se promatra samo fiziološki aktivni dio korijenskog sustava do 2 mm promjera, tada je najveća duljina od 79 cm (21 – 185 cm) dobivena kod sadnica s AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama, slijedi duljina korijena s AgroHidrogelom od 77 cm (1 – 170 cm) te duljina korijena kontrolnih sadnica od 67 cm (18 – 157 cm).

Najveći volumen korijena do 2 mm promjera u iznosu od 0,60 cm<sup>3</sup> (0,14 – 1,36 cm<sup>3</sup>) imale su također sadnice s AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama, slijedi

volumen korijena sadnica s AgroHidroGelom od 0,55 cm<sup>3</sup> (0,01 – 2,11 cm<sup>3</sup>) te volumen korijena kontrolnih sadnica od 0,47 cm<sup>3</sup> (0,09 – 1,94 cm<sup>3</sup>).

**Tablica 8.** Deskriptivna statistika nekih morfoloških varijabli fiziološki aktivnog dijela korijenskog sustava sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) do 2 mm promjera s obzirom na tretiranje

**Table 8** Descriptive statistics of some morphological variables of the physiologically active part of the root system of Pedunculate oak (*Quercus robur* L.) seedlings up to 2 mm in diameter with regard to the treatments

Varijabla Variable	Tretiranje Treatment	N	Mean	Median	Min.	Max	Var.	Std.Dev.
duljina (cm) length (cm)	kontrola control	10	67	54	18	157	1601	40
volumen (cm <sup>3</sup> ) volume (cm <sup>3</sup> )			0,47	0,33	0,09	1,94	0,18	0,42
vrhovi (kom.) tips (pcs)			226	169	12	641	50666	225
duljina (cm) length (cm)	AgroHidroGel AgroHidroGel	10	77	67	1	170	2879	54
volumen (cm <sup>3</sup> ) volume (cm <sup>3</sup> )			0,55	0,37	0,01	2,11	0,31	0,56
vrhovi (kom.) tips (pcs)			242	141	2	669	64258	253
duljina (cm) length (cm)	AgroHidroGel + ektomikoriza AgroHidroGel + ectomycorrhiza	8	79	68	21	185	1493	39
volumen (cm <sup>3</sup> ) volume (cm <sup>3</sup> )			0,6	0,42	0,14	1,36	0,16	0,4
vrhovi (kom.) tips (pcs)			238	193	9	630	53513	231

Broj vrhova korijena do 2 mm promjera bio je najveći kod sadnica s AgroHidroGelom i iznosio je 242 komada (2 – 669 komada), slijedi broj vrhova korijena sadnica s AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama od 238 komada (9 – 630 komada) te broj vrhova korijena kontrolnih sadnica od 226 komada (12 – 641 komada).

Analizom varijance nisu utvrđene statistički značajne razlike u duljini ( $F = 0,3735$ ,  $p = 0,690093$ ), volumenu ( $F = 0,33185$ ,  $p = 0,719074$ ) i broju vrhova korijena ( $F = 0,02556$ ,  $p = 0,974773$ ) do 2 mm promjera s obzirom na tretiranje. U tablici 9 prikazani su rezultati deskriptivne statistike mase svježe i suhe tvari korijena i stabljike sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) s obzirom na tretiranje.

**Tablica 9.** Deskriptivna statistika mase svježe i suhe tvari korijena i stabljike sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) s obzirom na tretiranje

**Table 9** Descriptive statistics of fresh and dry root and stem mass of Pedunculate oak (*Quercus robur* L.) seedlings with regard to the treatments

Varijabla Variable	Tretiranje Treatment	N	Mean	Median	Min.	Max.	Var.	Std.Dev.
korijen-svježe (g) root – fresh (g)	kontrola control	10	16,17	15,25	10,48	27,21	23,82	4,88
korijen-suho (g) root – dry (g)			7,85	8,15	4,32	12,82	5,62	2,37
stabljika-svježe (g) stem – fresh (g)			8,60	7,09	4,71	16,91	16,35	4,04
stabljika-suho (g) stem – dry (g)			4,90	3,97	2,52	9,83	5,77	2,40
S/K-svježe S/R– fresh (g)			0,52	0,49	0,30	0,72	0,01	0,12
S/K-suho S/R– dry (g)			0,61	0,61	0,31	0,83	0,02	0,16
korijen-svježe (g) root – fresh (g)	AgroHidroGel	10	19,87	17,66	8,05	43,37	105,97	10,29
korijen-suho (g) root – dry (g)			9,84	8,35	2,64	23,83	35,93	5,99
stabljika-svježe (g) stem – fresh (g)			8,94	7,96	2,85	16,48	23,15	4,81
stabljika-suho (g) stem – dry (g)			5,09	4,55	1,60	9,64	7,72	2,78
S/K-svježe S/R– fresh (g)			0,45	0,39	0,35	0,71	0,01	0,12
S/K-suho S/R– dry (g)			0,53	0,53	0,35	0,82	0,02	0,13
korijen-svježe (g) root – fresh (g)	AgroHidroGel + ektomikoriza AgroHidroGel + ectomycorrhiza	8	19,52	19,01	8,85	27,67	36,90	6,07
korijen-suho (g) root – dry (g)			9,92	10,05	4,11	14,58	11,65	3,41
stabljika-svježe (g) stem – fresh (g)			8,76	8,36	5,49	12,29	6,05	2,46
stabljika-suho (g) stem – dry (g)			5,00	4,72	3,09	7,22	2,31	1,52
S/K-svježe S/R– fresh (g)			0,46	0,46	0,38	0,62	0,01	0,08
S/K-suho S/R– dry (g)			0,53	0,49	0,38	0,75	0,02	0,12

Kod sva tri tretiranja dobivena je pozitivna i visoka korelacija između mase korijena i stabljike sadnica hrasta lužnjaka u svježem i suhom stanju (kontrola  $R = 0,91$ ,  $R = 0,85$ ; AgroHidroGel  $R = 0,82$ ,  $R = 0,80$ ; AgroHidroGel + ektomikorizne gljive  $R = 0,92$ ,  $R = 0,84$ ).

Analizom varijance nije utvrđena statistički značajna razlika u masi svježe tvari korijena ( $F = 0,7119$ ,  $p = 0,500398$ ) i stabljike ( $F = 0,0178$ ,  $p = 0,982412$ ) sadnica hrasta lužnjaka s obzirom na tretiranja, iako je vidljivo povećanje mase svježe tvari korijena sadnica s AgroHidroGelom te AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama. Statistički značajna razlika nije dobivena ni u slučaju mase suhe tvari korijena ( $F = 0,7269$ ,  $p = 0,493352$ ) i stabljike ( $F = 0,0149$ ,  $p = 0,985225$ ) s obzirom na tretiranja, ali se, kao i kod svježe tvari, vidi povećanje mase korijena sadnica s AgroHidroGelom te AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama.

Kontrolne sadnice imale su nešto veći omjer mase nadzemnog i podzemnog dijela izražen u svježem i suhom stanju u odnosu na sadnice iz drugih tretiranja, iako ta razlika nije statistički značajna ( $F = 1,2255$ ,  $p = 0,310662$ ;  $F = 1,0271$ ,  $p = 0,372652$ ).

## RASPRAVA / DISCUSSION

Prema Sharmi i dr. (2008), utjecaj inokulacije na uspjeh nakon sadnje sadnica na terenu može biti pozitivan, neutralan ili negativan ovisno o ekološkim čimbenicima, vrstama ektomikoriznih gljiva i biljci domaćinu. U mnogim istraživanjima dokazano je da ektomikorizne gljive omogućuju bolje usvajanje vode prema korijenu biljke domaćina, što je posebno važno tijekom razdoblja suše ili u aridnim klimatskim uvjetima. Umjetna inokulacija šumskih sadnica s ektomikoriznim gljivama dokazano je najkorisnija kod sadnje na staništa gdje nema dubećih stabala (Marx 1991). Iz tog je razloga naša pokusna ploha osnovana na čistoj površini koja je nastala poslije dovršnog sijeka starih matičnih stabala. Prema Mahonyju (2005), u područjima gdje je nastupila biološka, fizička i kemijska degradacija tla, mikoriza ima važnu ulogu u preživljenju biljaka. Menkis (2005) piše da su sadnice inokulirane s određenim ektomikoriznim gljivama imale statistički bolje preživljenje i rast tijekom prve dvije vegetacije u odnosu na neinokulirane sadnice. Prema Burkett i dr. (2005), inokulirane kontejnerske sadnice vrste *Quercus texana* Buckl. s vegetativnim micelijem *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker koje su posađene na niže nadmorske visine imale su bolje preživljenje u odnosu na neinokulirane. Prema Tikviću (2007), ektomikorizna gljiva *Laccaria bicolor* inokulirana na sadnice hrasta lužnjaka unaprijedila je rast sadnica u uvjetima normalne vlažnosti, jer su utvrđene veće visine (za 12 – 25%) kod inokuliranih sadnica u odnosu na kontrolne sadnice. U nepovoljnim ekološkim prilikama (prekomjerna vlažnost supstrata) nisu utvrđene bitnije razlike u parametrima rasta između inokuliranih i neinokuliranih sadnica. Na inokuliranim sadnicama hrasta lužnjaka u prekomjerno vlažnim uvjetima nije utvrđen razvoj ektomikorize. U našim istraživanjima dokazan je pozitivan utjecaj AgroHidroGela i ektomikoriznih gljiva na preživljenje dvogodišnjih sadnica hrasta lužnjaka. Kod sadnica tretiranih AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama utvrđen je za 1,11% manji mortalitet



u odnosu na kontrolne sadnice, što je važno s obzirom na velik broj sadnica hrasta lužnjaka kojima se svake godine obavlja umjetno pomlađivanje ili popunjavanje.

Sharma i dr. (2008) pišu da je korijen inokuliranih sadnica bambusa (*Dendrocalamus*) u laboratorijskim uvjetima bio dulji za razliku od neinokuliranih, dok je u rasadničkim uvjetima bio varijabilan. U tim istraživanjima dokazano je pozitivno djelovanje AgroHidroGela i ektomikoriznih gljiva na ukupnu duljinu, volumen i broj vrhova korijena dvogodišnjih sadnica hrasta lužnjaka.

Marx (1979a) utvrdio je bitno povećanje visine i težine sadnica bijelog hrasta i sjevernog crvenog hrasta inokuliranih s *Pisolithus tinctorius* u rasadniku. U našim istraživanjima utvrđeno je povećanje mase svježje i suhe tvari korijena kod sadnica s AgroHidroGelom te s AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama, što se podudara s rezultatima Marxa (1979a).

Marx (1979b) piše o boljem rastu sadnica crvenog hrasta inokuliranih s *Pisolithus* ektomikorizom u odnosu na kontrolne sadnice te sadnice s manje ektomikorize. Garbaye i Churin (1997) utvrdili su znatno poboljšanje rasta biljaka inokuliranih s *P. involutus* na dva različita staništa. Egerton-Warburton i Allen (2001) pišu o manjem utjecaju endomikoriznih i ektomikoriznih gljiva na sadnicama vrste *Quercus agrifolia* tijekom prvih godina nakon presadnje na teren. U našim istraživanjima utvrđen je negativan utjecaj ektomikoriznih gljiva na visinski i debljinski prirast sadnica tijekom prve vegetacije na terenu što se može tumačiti kasnijom sadnjom, šokom zbog presadnje, izrazito sušnim razdobljem tijekom ljeta te poznatom činjenicom da mikoriznim gljivama za rast treba dodatna energija u obliku ugljikohidrata koju uzimaju od biljke domaćina. Sadnice tretirane AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama imale su u prosjeku 15 mm manji visinski i 0,19 mm manji godišnji debljinski prirast za razliku od kontrolnih sadnica. Slične negativne rezultate dobio je Tikvić i dr. (2006) kod primjene endomikoriznog inokuluma EndorizeSOL u količini od 0,2 l/m<sup>2</sup>. Navedeni inokulum nije unaprijedio rast sadnica poljskog jasena i crne johe, što se pripisuje pionirskim obilježjima tih vrsta drveća i ekološkim uvjetima koji mogu biti ograničavajući čimbenik za razvoj sadnica, ali i endomikorizu. Kod sadnica poljskog jasena utvrđene su nešto veće visine i promjeri tretiranih sadnica u odnosu na kontrolu, dok su kod sadnica crne johe utvrđene manje visine i promjeri, što se podudara s našim istraživanjima s ektomikorizom na sadnicama hrasta lužnjaka. S obzirom na to da utjecaj ektomikoriznih gljiva na šumske sadnice postaje sve izraženiji s brojem vegetacija na terenu, sljedećih se godina mogu očekivati puno bolji rezultati preživljenja i rasta (Tikvić i dr. 2006).

Sarvaš i dr. (2007) pišu o pozitivnom utjecaju hidrogela Stockosorb na preživljenje sadnica. Ako nakon sadnje nema padalina, zbog manjka raspoložive vode za apsorpciju, primjena hidrogela neće utjecati na preživljenje sadnica. U našim istraživanjima primjena AgroHidroGela imala je pozitivan utjecaj na preživljenje i razvoj

korijena dvogodišnjih sadnica hrasta lužnjaka. Kod sadnica tretiranih AgroHidroGelom utvrđen je za 1,48% manji mortalitet, za 26,4 cm veća ukupna duljina korijena, za 0,21 mm veći prosječni promjer korijena, za 1,20 cm<sup>3</sup> veći volumen korijena i za 36 komada više vrhova korijena u odnosu na kontrolne sadnice. Za preživljenje sadnica nakon sadnje ključan je čimbenik i kapacitet tla za vodu (Parker 1974). Dodavanjem hidrogela povećava se retencijski vodni kapacitet tla i vodni potencijal, smanjuje se evaporacija smanjivanjem hidraulične provodljivosti tla (Aggelides i Kollias 1984, Aggelides i Bachtalias 1989) te povećava preživljenje i rast sadnica.

O pozitivnom utjecaju primjene hidrogela Stockosorb pišu Brofas i dr. (2004), Hüttermann i dr. (1999), Oscroft i dr. (2000), Jurásek (2001), Sarvaš (2003a,b, 2004), Sarvaš i Tučeková (2003a,b). S druge strane, rezultati nekih istraživanja ne pokazuju mjerljive pozitivne učinke dodavanja hidrogela u tlo (Hartmann i dr. 1976, Lamont i O'-Connell 1987, Nwonwu 1987, Keever i dr. 1989, Swietlik 1989, Wang 1989, Lamanina i dr. 1991, Tripepi i dr. 1991, Heiskanen 1994), odnosno dodatak hidrogela u tlo uzrokovao je određene negativne učinke na sadnice (Rietveld 1976, Austin i Bondari 1992). U našim istraživanjima primjena AgroHidroGela smanjila je prosječni godišnji visinski prirast dvogodišnjih sadnica hrasta lužnjaka za 13 mm, odnosno prosječni godišnji debljinski prirast za 0,21 mm.

## ZAKLJUČCI / CONCLUSIONS

Primjena AgroHidroGela te AgroHidroGela i ektomikoriznih gljiva imala je pozitivan utjecaj na preživljenje dvogodišnjih (2 + 0) sadnica hrasta lužnjaka. Kod sadnica s AgroHidroGelom utvrđen je za 1,48% manji mortalitet u odnosu na kontrolne sadnice, odnosno u slučaju sadnica s AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama mortalitet je bio niži za 1,11%. S obzirom na velik broj sadnica hrasta lužnjaka koje se svake godine koriste kod umjetne obnove sastojina, dobivene vrijednosti nisu zanemarive s ekonomskog aspekta. Kod svih tretiranja utvrđene su statistički značajne razlike u visinama sadnica na početku i kraju vegetacije, dok se promjer vrata korijena statistički značajno razlikovao samo kod kontrolnih sadnica.

Kontrolne sadnice imale su prosječno najveći godišnji visinski (32 mm) i debljinski (0,37 mm) prirast. Godišnji visinski prirast sadnica s AgroHidroGelom te AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama bio je u prosjeku niži za 13 mm, odnosno za 15 mm. Godišnji debljinski prirast sadnica s AgroHidroGelom te AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama također je bio manji u odnosu na kontrolne sadnice za 0,21 mm, odnosno 0,19 mm.

Statistički značajna razlika utvrđena je isključivo između godišnjeg visinskog prirasta kontrolnih sadnica i sadnica s AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama. Isto tako, razlike u godišnjem debljinskom prirastu s obzirom na tretiranja nisu

statistički značajne. Iako nije utvrđena statistički značajna razlika u ukupnoj duljini korijenskog sustava s obzirom na tretiranje, primjena AgroHidroGela te AgroHidroGela i ektomikoriznih gljiva dovela je do prosječnog povećanja ukupne duljine korijena sadnica hrasta lužnjaka za 26,4 cm, odnosno 30,32 cm. Nije utvrđena statistički značajna razlika u prosječnom promjeru korijenskog sustava sadnica s obzirom na tretiranje, ali su sadnice s AgroHidrogelom imale u prosjeku 0,21 mm veći prosječni promjer korijena u odnosu na kontrolne sadnice te sadnice s AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama. Statistički značajna razlika u volumenu korijenskog sustava sadnica s obzirom na tretiranje nije utvrđena, ali se kod sadnica s AgroHidroGelom povećao prosječni volumen korijena za 1,20 cm<sup>3</sup>, odnosno kod sadnica s AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama prosječni se volumen povećao za 1,43 cm<sup>3</sup>. Iako nije bilo statistički značajne razlike između tretiranja, sadnice s AgroHidroGelom i AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama imale su u prosjeku za 36, odnosno 28 komada više vrhova korijena u odnosu na kontrolne sadnice.

Analizom varijance nisu utvrđene statistički značajne razlike u broju račvanja i križanja korijena s obzirom na tretiranja.

Sadnice s AgroHidroGelom i AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama imale su u prosjeku za 111, odnosno 193 komada više račvanja u odnosu na kontrolne sadnice. S druge strane, kontrolne sadnice imale su za 3, odnosno 9 komada veći broj križanja korijena u odnosu na sadnice s AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama te sadnice s AgroHidroGelom. Iako nije dobivena statistički značajna razlika u duljini i volumenu sitnog korijenja do 2 mm promjera s obzirom na tretiranja, najveća duljina i volumen finog utvrđeni su kod sadnica s AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama, a najmanji kod kontrolnih sadnica. Sadnice s AgroHidroGelom imale su najveći broj vrhova korijena do 2 mm promjera, dok je najmanji broj vrhova zabilježen kod kontrolnih sadnica. Dobivena je pozitivna i visoka korelacija između mase korijena i stabljike sadnica u svježem stanju kod sva tri tretiranja. Nije utvrđena statistički značajna razlika u masi svježje, odnosno suhe tvari korijena i stabljike sadnica s obzirom na tretiranja, ali je vidljivo povećanje mase svježje i suhe tvari korijena kod sadnica s AgroHidroGelom i AgroHidroGelom i ektomikoriznim gljivama. Kontrolne sadnice imale su nešto veći omjer mase nadzemnog i podzemnog dijela izražen u svježem i suhom stanju u odnosu na sadnice iz drugih tretiranja, iako ta razlika nije statistički značajna. S obzirom na to da je otprije poznato signifikantno djelovanje ektomikoriznih gljiva na šumske sadnice listača tek poslije nekoliko vegetacija na terenu, sljedećih se godina očekuju puno bolji rezultati preživljenja i rasta.

## Literatura / References

- Aggelides, S., A. Kollias, 1984: Improvement of physical properties of certain soils by using the synthetic polymer Agrohyd. *Georgiki Erevne*, 8: 347-361.
- Aggelides, S., I. Bachtalias, 1989: Evaluation of water insoluble soil improvement products commercially available in our country. *Georgiki Erevne*, 13: 83-93.
- Amaranthus, M. P., D. A. Perry, 1987: Effect of soil transfer on ectomycorrhiza formation and the survival and growth of conifer seedlings on old, nonreforested clear-cuts. *Can. J. For. Res.* 17: 944-950.
- Appleton, B., J. Koci, S. French, M. Lestyan, R. Harris, 2003: Mycorrhizal fungal inoculation of established street trees. *Journal of Arboriculture*, 29 (2): 107-110.
- Austin, M. E., K. Bondari, 1992: Hydrogel as a field medium amendment for blueberry plants. *HortScience*, 27: 973-974.
- Bouranis, D. L., A. G. Theodoropoulos, J. B. Drosopoulus, 1995: Designing synthetic polymers as soil conditioners. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 26: 1455-1480.
- Brofas, G., C. Varelides, G. Mantakas, 2004: Effect of a hydrogel on plant survival in mining spoils. In: Bhattacharya J., Deb D., Jain M. K., Bhattacharjee A. (eds.), *Technology and Management for Sustainable Exploitation of Minerals and Natural Resources*, 5-7 February 2004. Kharagpur, Indian Institute of Technology: 329-334.
- Burgess, T., B. Dell, N. Malajczuk, 1994: Variation in mycorrhizal development and growth stimulation by 20 *Pisolithus* isolates inoculated on to *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. *New Phytol.*, 127: 731-739.
- Burkett, V. R., R. O. Draugelis-Dale, H. M. Williams, S. H. Schoenholtz, 2005: Effects of flooding regime and seedling treatment on early survival and growth of Nuttall Oak. *Restoration Ecology*, 13 (3): 471-479.
- Devine, W. D., C. A. Harrington, D. Southworth, 2009: Improving root growth and morphology of containerized Oregon White Oak seedlings. *Tree Planters' Notes*, 53 (2): 29-34.
- Dubraveć, K. D., I. Regula, 1995: *Fiziologija bilja*. Školska knjiga Zagreb, 244.
- Egerton-Warburton, L., M. F. Allen, 2001: Endo- and ectomycorrhizas in *Quercus agrifolia* Nee. (*Fagaceae*): patterns of root colonization and effects on seedling growth. *Mycorrhiza*, 11: 283-290.
- Garbaye, J., J. L. Churin, 1997: Growth stimulation of young oak plantations inoculated with the ectomycorrhizal fungus *Paxillus involutus* with special reference to summer drought. *Forest Ecol. Manag.*, 98: 221-228.
- Hartmann, R., H. Verplancke, B. G. Bishay, 1976: Study of the water repellency of soils under citrus trees in Egypt, and means of improvement. *Mededel. Faculteit Landbouwwet., Rijksuniv. - Gent.*, 41: 201-208.
- Hatchell, G. E., D. H. Marx, 1987: Response of longleaf, sand, and loblolly pines to *Pisolithus* ectomycorrhizae and fertilizer on a sandhills site in South Carolina. *For. Sci.*, 33: 301-315.
- Heiskanen, J., 1994: Effect of peat-based two-component growth media on the growth of containerized Scots pine seedlings. *Suo*, 45: 17-29.
- Hüttermann, A., M. Zomporodi, K. Reise, 1999: Addition of hydrogels to soil prolonging the survival of *Pinus halepensis* seedlings subjected to drought. *Soil & Tillage Research*, 50: 295-304.

- Jurásek, A., 2001: Poloprovozní výzkumná plocha Paličnick 2. U: Slodičák M., Novák J. (ur.), Současné problémy pěstování horských lesů – Průvodce exkurzní trasou, 13. 9. 2001: 18-20.
- Keever, G. J., G. S. Cobb, J. C. Stephenson, W. J. Foster, 1989: Effect of hydrophilic polymer amendment on growth of container grown landscape plants. *J. Environ. Hortic.*, 7: 52-56.
- Khasa, P. D., L. Sigler, P. Chakravarty, B. P. Dancik, L. Erikson, D. Mc Curdy, 2001: Effect of fertilization on growth and ectomycorrhizal development of container-grown and bare-root nursery conifer seedlings. *New For.*, 22: 179-197.
- Lamanna, D. M., G. D'-Angelo Castelnovo, 1991: Compost-based media as alternative to peat on ten pot ornamentals. *Acta Hortic.*, 294: 125-129.
- Lamont, G. P., M. A. O'-Connell, 1987: Shelf-life of bedding plants as influenced by potting media and hydrogels. *Scientia Hortic.*, 31: 141-149.
- Mahony, C. P., 2005: Effects of native ectomycorrhizal fungi on aspen seedlings in greenhouse studies: inoculation methods, fertilizer regimes, and plant uptake of selected elements in smelter-impacted soils. Master of Science in Plant Science. Montana State University, 233.
- Marx, D. H., 1979a: Synthesis of *Pisolithus* ectomycorrhizae on white oak seedlings in fumigated nursery soil. U. S. Department of Agriculture, Forest Service Research Note SE- 280.
- Marx, D. H. 1979b: Synthesis of ectomycorrhizae by different fungi on northern red oak (*Q. rubra*) seedlings. U. S. Department of Agriculture, Forest Service Research Note SE- 282.
- Marx, D. H., 1991: The practical significance of ectomycorrhizae in forest establishment. Pages 54-90 in B. Hägglund, editor. Ecophysiology of ectomycorrhizae of forest trees. Lectures given at the 1991 Marcus Wallenberg Prize Symposium in Stockholm, Sweden. Marcus Wallenberg Foundation, Stockholm, Sweden.
- Menkis, A. 2005: Root associated fungi of conifer seedlings and their role in afforestation of agricultural land. Doctoral dissertation. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, Sweden.
- Nwonwu, F. O. C., 1987: An assessment of the suitability of a soil amendment polymer for tree crop growing. *Pakistan J. Forestry*, 37: 191-196.
- Oscroft, D. G., K. M. Little, P. W. M. Viero, 2000: The effect of a soil-amended hydrogel on the establishment of *Pinus elliotti* × *caribaea* rooted cuttings on the Zululand coastal sands. *ICFR Bulletin*, 19: 8.
- Parker, P. E., 1974: Rehabilitation potentials and limitations of surface-mined land in the northern Great plains. Intermountain Forest and Range Experimental Station. USDA Forestry Service Genetic Technical Report INT-14.
- Rietveld, W. J., 1976: Hydrophilic polymer reduces germination of Ponderosa Pine in seed spots. *Tree-Planters' Notes*, 27: 18-19.
- Roldan, A., I. Querejeta, L. Albaladejo, V. Castilo, 1996: Survival and growth of *Pinus halepensis* Miller seedlings in a semi-arid environment after forest soil transfer, terracing and organic amendments. *Annales des Sciences Fores*, 53: 1099-1112.
- Sarvaš, M., 2003a: Effect of desiccation on the root system of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) seedlings and a possibility of using hydrogel Stockosorb for its protection. *Journal of Forest Science*, 49: 531-536.
- Sarvaš, M., 2003b: Planting stock quality and new practices of afforestation – crucial factors for successful afforestation programme. In: Zajac S., Gil W. (Eds.), *Afforestations in Euro-*

- pe Experiences and Prospects, Warsaw 6–8 October 2003. Instytut Badawczy Leśnictwa, Warszawa: 86-92.
- Sarvaš, M., 2004: The affect of drought on artificial regeneration in Slovakia in 2003 and the possibilities to increase plant adaptability after plantation in Central Europe. In: Impact of the drought and heat in 2003 on forests. Berichte Freiburger Forstlicher Forschung, 57: 17-19.
- Sarvaš, M., A. Tučeková, 2003a: Aplikácia hydrogélů rady Stockosorb v škôlkárskej praxi. Zprávy lesníckého výzkumu, 48: 70-74.
- Sarvaš, M., A. Tučeková, 2003b: Uplatnenie progresívnych metód a postupov v škôlkárskej výrobe. In: Aktuálne problémy lesného škôlkárstva a semenárstva, Tatranská Lomnica, 2003. Zvolen, Lesnícky výskumný ústav: 59-64.
- Sarvaš, M., P. Pavlenda, E. Takáčová, 2007: Effect of hydrogel application on survival and growth of pine seedlings in reclamations. Journal Of Forest Science, 53 (5): 204-209.
- Sharma R., R. C. Rajak, A. K. Pandey, 2008: Growth Response of Dendrocalamus Seedlings by Inoculation with Ectomycorrhizal Fungi. Middle-East Journal of Scientific Research, 3 (4): 200-206.
- Southworth, D., E. M. Carrington, J. L. Frank, P. Gould, C. A. Harrington, W. D. Devine, 2009: Mycorrhizas on nursery and field seedlings of *Quercus garryana*. Mycorrhiza, 19: 149-158.
- StatSoft, Inc., 2007: Electronic Statistics Textbook. Tulsa, OK: StatSoft. Dostupno na: <http://www.statsoft.com/textbook/stathome.html>.
- Swietlik, D., 1989: Effect of soil amendment with Viterra hydrogel on establishment of newly-planted grapefruit trees cv. Ruby Red. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 20: 1697-1705.
- Sylvia, D. M., S. E. Williams, 1992: Vesicular-arbuscular mycorrhizae and environmental stress, pp 101–124. In Linderman, R. G., and G. J. Bethlenfalvay (Eds.). Mycorrhizae in Sustainable Agriculture. Special publication No. 54, American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Tikvić, I., Z. Seletković, D. Ugarković, G. Žnidarić, 2006: Utjecaj endomikoriznog inokuluma na rast sadnica poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) i crne johe (*Alnus glutinosa* Gaertn.) u rasadniku. Glasnik za šumske pokuse. Pos. izd. 5: 129-138.
- Tikvić, I., Z. Seletković, D. Ugarković, R. Rosavec, 2007: Growth of Pedunculate oak seedlings inoculated with ectomycorrhiza *Laccaria bicolor* in excessively humid substrate conditions. Periodicum Biologorum, 109 (1): 47-53.
- Tognetti, R., M. Michelozzi, A. Giovaneli, 1997: Geographical variation in water relations, hydraulic architecture and terpene composition of Aleppo pine seedlings from Italian provenances. Tree Physiology, 17: 241-250.
- Tripepi, R. R., M. W. George, R. K. Dumroese, D. L. Wenny, 1991: Birch seedling response to irrigation frequency and a hydrophilic polymer amendment in a container medium. J. Environ. Hortic., 9: 119-123.
- Wang, Y. T., 1989: Medium and hydrogel affect production and wilting of tropical ornamental plants. HortScience, 24: 941-944.
- WinRhizo Pro.V., 2005: Basic, Reg & Pro for Washed root measurement. Regent Instruments Inc., Canada, 106.
- Zhou, M., T. L. Sharik, M. F. Jurgensen, D. L. Richter, 1997: Ectomycorrhizal colonization of *Quercus rubra* seedlings in response to

## ***The effect of agrohydrogel and ectomycorrhizae on the survival and initial growth of Pedunculate oak (Quercus robur L.) seedlings***

### ***Summary***

In natural forest stands of the temperate belt, tree species from the Fagaceae family are dependent on ectomycorrhizal fungi. The results of numerous research activities indicate a positive effect of ectomycorrhizal symbiosis on the survival, growth and development of forest seedlings. The highest effect of seedlings inoculated with mycorrhizal fungi is visible during the stress period. Water availability for plant roots is one of the principal factors which regulates the survival and growth of seedlings after outplanting. Hydrogels or polyacrylamide gels in high network concentrations, where 40% of amide groups are hydrolyzed in carboxile groups, have been used in agriculture and forestry for a number of years with the goal of improving soil humidity. A sample plot with two-year-old seedlings of pedunculate oak (2+0) was established in the area of the Training and Research Centre Lipovljani, Management Unit „Opeke“, compartment/subcompartment 150b, which is managed by the Faculty of Forestry of the University of Zagreb. The plot was set up on forest soil after the final cut of a 118-year-old stand. The experiment was established in the spring of 2012 as a Latin square with three treatments (control, AgroHydroGel, AgroHydroGel+ectomycorrhiza) and three repetitions. Mycorrhization was performed by submerging the seedling root system in an AgroHydroGel suspension supplemented with live ectomycorrhizal mycelia with beneficial bacteria (Mykoflor, Poland). Seedling survival was recorded and morphological measurements were performed in the autumn of 2012. Eight variables of the seedling root system were analyzed by means of WinRHIZOProLA2400 software. Root and stem mass was determined in fresh and dry condition after drying for 48 hours at a temperature of 68°C. The data were statistically analyzed (descriptive statistics, ANOVA, correlation) in STATISTICA 7.1 statistics software. Mortality in seedlings treated with AgroHydroGel was lower by 1.48% compared to control seedlings, while mortality in seedlings treated with AgroHydroGel and ectomycorrhizal fungi was lower by 1.11%. A negative effect of ectomycorrhizal fungi on seedling height and diameter increment was observed. Compared to control seedlings, seedlings treated with AgroHydroGel and ectomycorrhizal fungi showed on average 11 mm lower height and 0.19 mm lower annual diameter increment. A positive effect of AgroHydroGel and ectomycorrhizal fungi on the total length, volume and number of seedling root tips was confirmed. The application of AgroHydroGel had a positive effect on root survival and development, but a negative effect on seedling height and diameter increment. Seedlings treated with AgroHydroGel manifested a higher total root length, a higher average root diameter, a higher root volume and more root tips in relation to control seedlings. The highest length and volume of fine roots (< 2 mm diameter) was observed in seedlings treated with AgroHydroGel and ectomycorrhizal fungi and the lowest in control seedlings. In view of the fact that the effect of ectomycorrhizal fungi on forest seedlings is becoming increasingly more distinct with the number of vegetations in the field, much better survival and growth results are expected in the coming years.

**Keywords:** mycorrhiza; WinRHIZO; height growth; diameter growth; root system.

**Doc. dr. sc. Damir Drvodelić**

Zavod za ekologiju i uzgajanje šuma  
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
p. p. 422, 10002 Zagreb

**Vinko Paulić, dipl. ing. šum.**

Zavod za ekologiju i uzgajanje šuma  
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
p. p. 422, 10002 Zagreb

**Prof. dr. sc. Milan Oršanić**

Zavod za ekologiju i uzgajanje šuma  
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
p. p. 422, 10002 Zagreb